

- [1] Е. Б. Александров, О. В. Константинов, В. Н. Кулясов, А. Б. Мамырин, В. И. Перель. ЖЭТФ, 61, 2259, 1971.
 [2] Е. Б. Александров, В. П. Козлов, В. Н. Кулясов. ЖЭТФ, 66, 1269, 1974.
 [3] Е. Б. Александров, А. Б. Мамырин. ЖЭТФ, 72, 471, 1977.
 [4] Ю. М. Голубев. ЖЭТФ, 69, 835, 1975.
 [5] Л. М. Хаятин. ЖЭТФ, 62, 1321, 1972.
 [6] М. П. Чайка. Интерференция возбужденных атомных состояний. Изд. ЛГУ, Л., 1975.

Поступило в Редакцию 23 июля 1977 г.

УДК 535.2

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЛИНЕЙНО ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ю. Н. Дубинин и Г. Я. Попова

В настоящем сообщении указывается на существование в нелинейно поглощающей среде пространственно-частотных резонансов и на возможность использования их для диагностики газовой среды.

Рассмотрим двухуровневую гамма-среду в поле двух плоских волн, распространяющихся под углом φ друг к другу. Частота волн ω и ω_0 ($\omega - \omega_0 = \Delta$) близки к частоте перехода ω_{21} ($\omega - \omega_{21} = \Delta$). Угол φ определен относительно оси z плоской пространственной частотой w соотношением $w = k_0 \sin \varphi$, где k_0 — волновое число падающей волны. Исследуем поведение коэффициентов поглощения и преломления в различных пространственных частотах. Воспользуемся системой уравнений для элементов матрицы плотности, которая в резонансном приближении имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial t} + v\nabla + \gamma_j \right) \rho_{jj} &= \pm i \operatorname{Re} \left(G e^{-i(\omega t - kx)} + G^* e^{i(\omega t - kx)} \right) (\rho_{21} - \rho_{12}) + \gamma_j \rho_{jj}^0 \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + v\nabla + i\omega_{21} + \Gamma \right) \rho_{21} &= i \left(G e^{-i(\omega t - kx)} + G^* e^{i(\omega t - kx)} \right) (\rho_{21} - \rho_{12}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь $j=1, 2$; γ_1, γ_2 — обратные времена жизни уровней; Γ — вынужденная линия; $G = d_{21} E / 2\hbar$, $G^* = d_{12} E^* / 2\hbar$; $2E = 2E_0 \cos \varphi$ — амплитуда сигнала в сильном поле; d_{21} — матричный элемент дипольного момента перехода частоты ω_{21} ; ρ_{jj}^0 — населенность уровня j в отсутствие полей, усредненная по моментам возбуждения; $\rho_{jj}^0 = N_j^{(0)} W(v)$; $N_j^{(0)}$ — плотность частиц на уровне j в отсутствие полей, $W(v) = (\sqrt{\pi} u)^{-3} e^{-(v/u)^2}$; v — скорость атома, взаимодействующего с полем, $u = \sqrt{2kT/m}$.

При решении системы уравнений (1) поле G считалось слабым, а поле G^* учитывалось с точностью до параметра насыщения $\alpha = 2|G^*|^2 \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} \right) / \Gamma$. Угол φ учитывался соотношением

$$(k - k_0) v = kv(1 - \cos \varphi). \quad (2)$$

В общем виде формулы для коэффициентов поглощения η и преломления n весьма громоздки. При $\alpha = \gamma_2 / \Gamma \ll 1$, $\theta = (1 - \cos \varphi) \ll 1$, $x = (1 - \theta \alpha) / \Gamma \ll 1$ этим выражениям можно придать вид

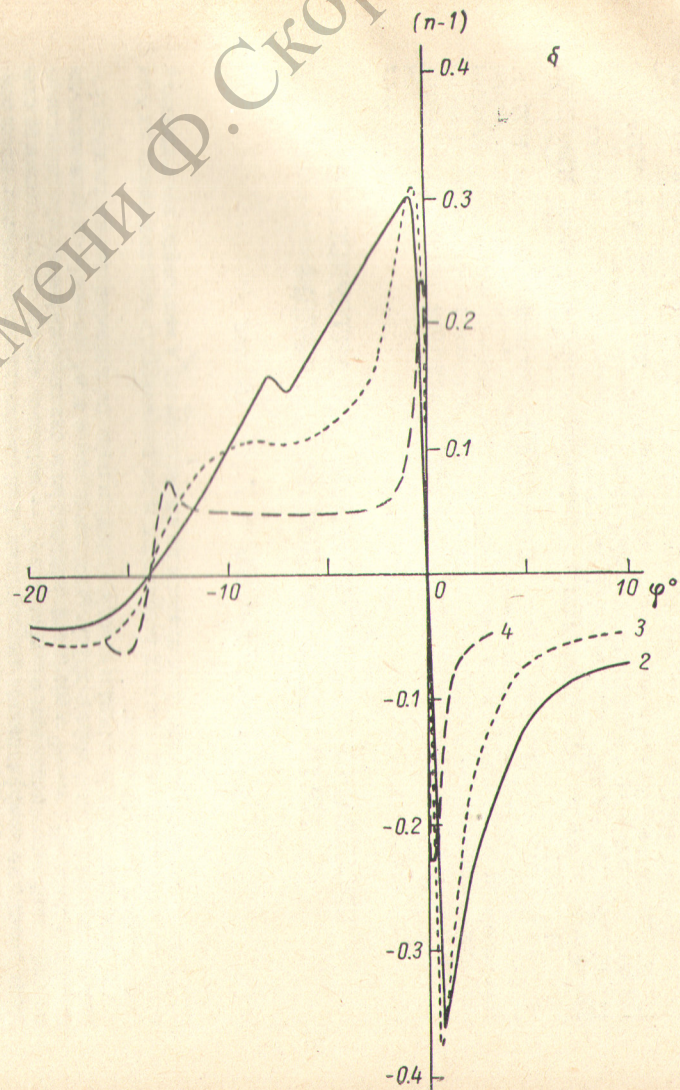
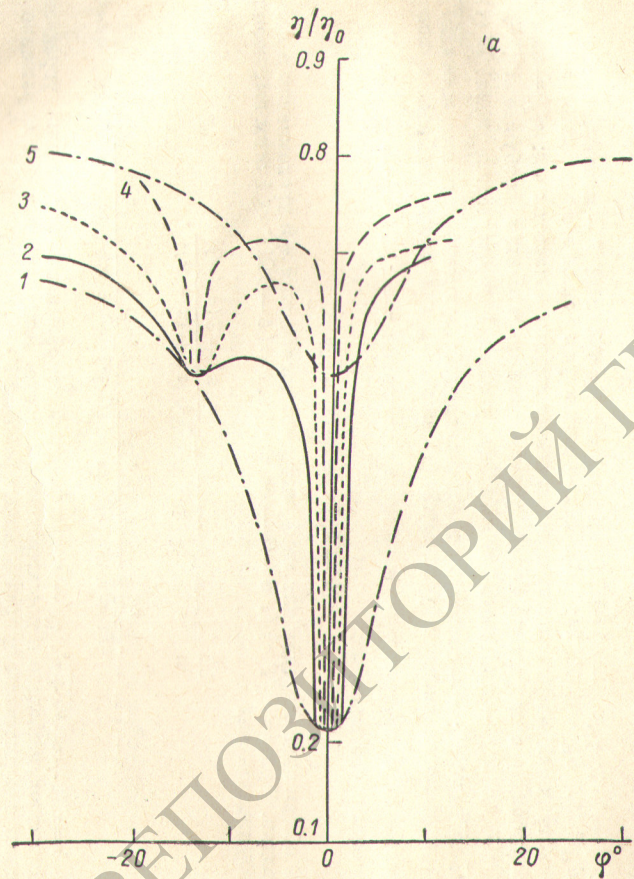
$$\frac{\eta}{\eta_0} = 1 - b \frac{1}{1+x^2} - x \frac{x^2 + 2(x+\theta)}{4x^2 + (x+\theta)^2}, \quad (3)$$

$$n - 1 = - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \frac{x}{x^2 + (1 + \sqrt{1+x^2})^2} - x \frac{x}{2x^2 + (x+\theta)^2}. \quad (4)$$

Здесь $b = x / (1 + x + \sqrt{1+x^2})$, η_0 — ненасыщенный коэффициент поглощения, усреднение по скоростям приведено в доплеровском пределе. Для $\omega = 0$ и $x < 1$ выражение (3) совпадает с формулами, приведенными в работах [1, 2].

На рисунке показана зависимость коэффициента поглощения (см. рисунок, а) и коэффициента преломления (см. рисунок, б) от угла $\varphi = w/k_0$ для различных параметров насыщения (кривые 1, 5) и $\alpha = 0.01$.

Из выражения (3) и рисунка видно, что при малых α большой вклад в коэффициент поглощения дает член, описывающий когерентные эффекты взаимодействия полей и за-



Зависимости коэффициентов поглощения (а) и преломления (б) от угла $\varphi = w/k_{\mu}$ для $\varphi_0 = 7^\circ$, $\alpha = 0.01$, $\kappa = 1$ (кривые 1—4) и $\kappa = 0.5$ (кривая 5).
Кривые 1, 5 соответствуют значению $\beta = (kv_0 \cos \varphi_0 / \Gamma) = 0$. Для кривых 2+4 значения β соответственно равны 3, 6 и 10.

висящий от пространственной частоты w . Контур поглощения при этом становится узкополосным по ω с резонансной частотой $w_0=0$ для неподвижной среды и $\Delta=\Omega=0$. При $x \neq 0$ пространственные резонансные частоты становятся отличными от нуля. Крутизна и форма контура поглощения по пространственным частотам зависит от параметра насыщения.

Таким образом, при сильно отличающихся константах затухания уровней (что типично для двухуровневых систем в оптическом диапазоне) нелинейно поглощающая ячейка становится фильтром пространственных частот. Пространственно-частотная передаточная функция такого фильтра формируется световым пучком и легко перестраивается. Следовательно, нелинейно поглощающая ячейка может найти применение в качестве управляемого светом пространственно-временного полосового частотного фильтра в системах оптической обработки информации, действующих в реальном времени.

Контур поглощения по пространственным частотам несет информацию о физических характеристиках среды. Исследование его расширяет методические возможности нелинейной спектроскопии и упрощает эксперимент, так как отпадает необходимость сканирования временной частоты ω слабой волны. Имея контур поглощения по w , легко построить контур поглощения по ω , оба контура однозначно связаны. Уширение спектра слабой волны по ω вызывает уменьшение контраста контура поглощения по пространственным частотам. Уширение спектра слабой волны по w вызывает уменьшение контраста контура поглощения по временным частотам. (В работе [2] отмечалось влияние угловой расходимости волн на уменьшение контраста контура поглощения по ω).

Если нелинейно поглощающая среда движется с постоянной скоростью v_0 , коэффициенты поглощения и преломления могут описываться выражениями вида (3) и (4), где $x \rightarrow (\Delta - \theta\Omega + \theta_0 k v_0 \cos \varphi_0)/T$. Здесь φ_0 — угол между направлениями волнового вектора сильной волны k и вектором скорости v_0 ; $\theta_0 = 1 - [\cos(\varphi + \varphi_0)/\cos \varphi_0]$. На рисунке иллюстрируется зависимость коэффициента поглощения (см. рисунок, а) и коэффициента преломления (см. рисунок, б) от угла φ для $x=1$ и $\alpha=0.01$ при различных скоростях движения резонансной среды.

При движении среды на контуре линии усиления появляются дополнительные резонансы с $w_0 = 2k_x v_0$. Резонансным частотам контура поглощения соответствуют нули пространственной фазочастотной характеристики, описываемой функцией $(n-1)$. Контраст резонансов контура поглощения и крутизна пространственной фазочастотной характеристики в окрестности резонансных частот тем больше, чем больше модуль скорости v_0 . Контур поглощения по пространственным частотам в трехмерном виде коэффициента преломления несет информацию о движении нелинейно поглощающей среды (в частности, о направлении скорости движения). Если эта скорость может быть просто определена по смещению резонансной частоты и при соответствующем контуре поглощения и преломления по ω .

Исследование контура поглощения по пространственным частотам можно проводить обычными методами Фурье-оптики. Например, оптический слемей формирует и направляют через ячейку с нелинейно поглощающей средой сильную волну в нулевой пространственной частоте и слабую волну в полосе пространственных частот $(+k_x, \varphi, -k_x, \varphi)$. Ячейка располагается на входе оптического анализатора Фурье-спектра. Фотопленка, помещенная в выходной Фурье-плоскости анализатора, фиксирует контур поглощения исследуемой среды по пространственным частотам. Пространственная фазочастотная характеристика регистрируется в той же плоскости методами интерферометрии.

Литература

- [1] Т. Я. Попова. Опт. и спектр., 36, 605, 1974.
[2] В. С. Летохов, В. П. Чеботаяев. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. «Наука», М., 1975.

Поступило в Редакцию 29 июня 1977 г.

УДК 539.184.5

О РОЛИ ТРИПЛЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ HeI В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО ВЕРХНИМ УРОВНЯМ

С. А. Багаев, О. В. Огинец, В. Б. Смирнов и Ю. А. Толмачев

Процессы возбуждения и опустошения триплетных состояний в гелии давно являются объектом исследований, причем основное внимание было уделено He^3D -уровням. Изучались такие принципиальные вопросы, как выполнимость правила Виггера при неурурих столкновениях возбужденных атомов с нормальными [1, 2] и возможность передачи энергии между уровнями с $\Delta L=2$.